Aus dem Pharmakologischen Institut der Universität Tübingen.
Vorstand: Professor Dr. Haffner.

Elektrische Versuche an Amoeba proteus zur Frage des Reizungsmechanismus.

Inaugural-Dissertation

zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Medizin, Chirurgie und Geburtshilfe
einer
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen

vorgelegt von

Ernst Nebel
aus Danzig.

1937

Buchdruckerei Adolf Remppis, Marbach a. N.

Zum Druck genehmigt
von der Medizinischen Fakultät
der Universität Tübingen.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Dekan: Prof. Dr. Usadel.
Berichterstatter: Prof. Dr. Haffner.

Meinen lieben Eltern!

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549602_0124

Reizversuche an Nervenstamm und Muskel, die am Pharmakologischen Institut durchgeführt worden waren, hatten zu dem Ergebnis geführt, daß bei einer Reihe von chemischen Reizen bei derjenigen Konzentration des Agens eine Erregung ausgelöst wird, die an der lokalen Reizstelle eine irreversible Veränderung bewirken. Dieses Ergebnis sprach sehr für die auch sonst von anderer Seite geäußerte Vermutung, daß die in solchen Fällen beobachtete physiologische Erregung Folgeerscheinung des durch die chemische Einwirkung ausgelösten Verletzungsstromes sei. Das gab Veranlassung, an einer Einzelzelle zu prüfen, ob auch hier etwa durch eine lokal begrenzte Durchlöcherung der Zellmembran Erregungserscheinungen ausgelöst werden können. Die folgenden Untersuchungen beschäftigen sich mit dieser Frage.

Als Testobjekt diente Amoeba proteus, deren Ausgangskultur wir dem Zoologischen Institut verdanken und die wir dann weiter züchteten. Wir benutzen als Nährlösung die von Chalkley angegebene Mischung:

1 ccm	10 % NaCl
0,4 „	1 % KCl
0,6 „	1 % $CaCl_2$

gelöst in 1000 ccm doppelt destilliertem Wasser. Der nicht immer konstante p_H der nicht beimpften Lösung beträgt ca. 6,1; der entsprechende Wert der beimpften Lösung liegt etwa bei $p_H = 5$.

Die beabsichtigten lokalen Membranstörungen wurden mittels eines elektrischen Stromes herbeizuführen versucht.*) Die Experimente gestalteten sich zunächst in der Weise, daß wir die Amöben in einer Kammer unterbrachten und durch diese den Gleichstrom hindurchschickten, wobei wir hofften, an der im Stromfeld liegenden Amöbe entgegengerichtete polare Wirkungen beobachten zu können. Später gingen wir dazu über, mit Hilfe eines Mikromanipulators die Elektroden an die Amöbe selbst heranzubringen, um dadurch eindeutigere lokale Polarisierung der Zellmembran zu erhalten.

*) Ueber rein chemische Reizversuche vgl. Dissertation von Gluns.

Geschichtliches.

Ueber das Verhalten der Amoeba proteus im elektrischen Stromfeld liegen bereits Angaben von Verworn vor. In seiner „Allgemeinen Physiologie“ (6. Aufl. 1915) schreibt er folgendes:

S. 557: Die Amöbe beginnt, wenn der Strom geschlossen wird, sofort nach der Kathode hin zu kriechen, indem sie ihre ursprüngliche Kriechrichtung aufgibt und ein Pseudopodium nach der Kathode zu vorfließen läßt, in das die ganze Protoplasmamasse nachströmt, bis der Körper wieder die typische langgestreckte Kriechform hat, in der er stetig der Kathode zufließt.

S. 513: Schickt man durch den Amöbenkörper, wenn er nach verschiedenen Richtungen hin seine Pseudopodien ausstreckt, einen konstanten Strom, so sieht man, daß er alsbald die typische Form der Amoeba limax annimmt, d. h. die langgestreckte Form, bei der das Protoplasma in einer einzigen Richtung fließt, so daß der ganze Körper gewissermaßen ein einziges, dickes, großes Pseudopodium bildet. Dabei zeigt sich, daß der langgestreckte Körper an der Anode kontraktorisch erregt ist, denn hier entwickeln sich die charakteristischen Bütschli'schen Vakuolen im Protoplasma, und das letztere zieht sich stark von der Anodenseite zurück, während an der Kathode im Gegenteil eine Expansion erfolgt, denn hier breitet sich das Protoplasma zu einem breiten Lappen aus, der Kathode entgegen.

Bei anderen Protozoen beschreibt Verworn außerdem den Zerfall des Protoplasmas von der Anodenseite her, z. B. bei Actinosphaerium Eichhornii (S. 510) und auf S. 512 für Pelomyxa. Hier berichtet er ausführlich folgendes: Wenn man diesen trägen Protoplasmaklumpen mit einem konstanten galvanischen Strom reizt, so tritt im Moment der Schließung nur an der Anode eine Erregung ein, die sich in einer plötzlichen, ruckartigen Kontraktion mit sofort darauf folgendem Zerfall der Anodenseite äußert. Bei der Oeffnung des Stromes erfolgt eine gleiche Kontraktion an der Kathodenseite, wäh-

rend der Zerfall an der Anode sofort sistiert wird. Läßt man dagegen den Strom länger geschlossen, so zerfällt schließlich der Körper von der Anodenseite her allmählich in eine tote Masse. Also Pelomyxa zeigt ebenfalls, daß auch die Dauer des konstanten Stromes als Reiz wirkt.

Elektrische Einwirkungen auf Amoeba proteus scheinen außerdem nicht näher untersucht worden zu sein. Auch in dem Handbuchartikel von Spek finden sich nur Angaben über Einwirkung der Reaktion, wobei bei Aenderung des p_H kolbenartige Abschnürungsringe im Protoplasma auftreten. Auch Keller bringt in seinem Werke keine entsprechenden Angaben.

Eigene Untersuchungen.

I. Durchströmungsversuche in der Kammer.

Wir stellten unsere Versuche zunächst auf einem einfachen Objektträger an, auf dem Deckgläser mit Kanadabalsam derart befestigt wurden, daß zwischen ihnen ein Spalt von 1—2 mm Breite blieb, in welchen der Tropfen der Kulturlösung gebracht wurde. Beiderseits der Deckgläser wurden unpolarisierbare Elektroden angelegt (Quecksilber, Kalomel, Kochsalz-Elektroden). Der Widerstand dieser Anordnung war jedoch so groß, daß ein brauchbarer Strom nicht hindurchgeschickt werden konnte.

Als geeigneter erwies sich eine andere Kammer, die wir den Angaben von Herrn Dr. Dittus (Zoologisches Institut) verdanken. Auf einem einfachen Objektträger wurden auf der Mitte in einem Abstand von 1—1,5 cm 2 poröse Tonklötzchen angebracht, seitlich davon links und rechts zwei Zinkstäbe als Elektroden. Als Befestigungsmittel hat sich uns folgendes Wachsgemisch am besten bewährt:

Bienenwachs	5
Karnauberwachs	1
Paraffin	1.

So entstanden 3 Kammern, wobei die beiden seitlichen mit einer Lösung von Zinksulfat gefüllt wurden, während in die

mittlere die Nährlösung kam. Auf diese Weise gelang eine befriedigende Durchschickung mit Strömen, die ohne kataphoretische oder polarisierende Störungen die Stromwirkung an der Amöbe beobachten ließen.

Wir verwandten 220 V Gleichstrom und schalteten außer der Kammer noch bis 170 000 Ohm Widerstand ein. Da die Apparatur selbst einen Widerstand von ungefähr 50 000 Ohm besaß, erhielten wir Ströme von 0,1—0,4 MA.

1. Versuche ohne Zusatz zur Kulturflüssigkeit.

Die Wirkung des Stromes staffelte sich nach der Stromstärke. Im einzelnen ergab sich folgendes:

a) Bei Reizung mit 1 MA platzte die Amöbe sofort unter Austritt körperlicher Bestandteile.

b) Bei 0,4 MA starb die Amöbe innerhalb 2 Minuten. Zunächst zeigte sich eine eigenartige, ziehharmonikaartige Zusammenziehung der Pseudopodien, dann eine Trennung des granulierten Endoplasma von dem homogenen Ektoplasma, wobei letzteres sich bräunlich verfärbte. Später traten Risse im Ektoplasma auf, das Tier schrumpfte zusammen und bildete zuletzt nur noch eine stark granulierte, braune Masse. Ein Austritt von geformter Substanz ließ sich nicht nachweisen.

c) Bei 0,2 MA ließ sich der im Prinzip gleiche Vorgang noch deutlicher verfolgen. Nach einer Schrecksekunde, in der die Amöbe wie gelähmt dalag, erfolgte plötzlich eine gesteigerte, aber nicht gerichtete Bewegung. Diese Bewegungssteigerung hielt an. Nach ca. 15 Minuten erfolgte zunächst wieder eine Trennung von Ekto- und Endoplasma. Außerdem beobachteten wir hier eine Erscheinung, die sich ziemlich regelmäßig wiederholte: in diesem Stadium, in dem das Tier offensichtlich schon irreversibel geschädigt war, begann der Zelleib sich an einer Stelle einzuschnüren und zu teilen. Außerdem wurden mehrere kleine Partikelchen abgespalten. Im Ektoplasma zeigten sich dann wieder Risse und schließlich resultierten mehrere kleine, ziemlich dichte, braun verfärbte Teile.

d) Bei 0,1 MA konnten wir auch nach Stunden noch keine Schädigung feststellen. Eine gerichtete Bewegung kathoden- oder anodenwärts fehlte.

Zusammenfassend läßt sich sagen, die von Verworn beschriebene Trennung in Ekto- und Endoplasma trat wohl ein, doch handelte es sich sicher um eine agonale Erscheinung, denn auch nach Ausschalten des Stromes kam es zu keiner Erholung mehr. Hinsichtlich des Einflusses der Stromrichtung verliefen unsere Versuche vollkommen negativ. Wir sahen weder eine Fortbewegung nach der einen Seite noch daß die beschriebenen groben Veränderungen an der einen oder anderen polaren Seite der Amöbe bevorzugt auftraten. Eigentümlich war, daß die von Gluns nach chemischer Reizung beobachtete Stechapfelform nur bei langsamem Absterben auftrat. Meist aber waren die dabei entstandenen Formen regelloser, gleichsam als ob sie fixiert wären.

2. Versuche mit Zusatz von Farbstoffen.

Da wir, wie gesagt, den Eindruck hatten, daß die zu beobachtenden groben Veränderungen beim Stromdurchfluß eher toxische als physiologische Wirkungen darstellten, versuchten wir, die auch im physiologischen Bereich anzunehmenden Polarisationserscheinungen an der Amöbe mit Hilfe der Vitalfärbung sichtbar zu machen. Ueber Vitalfärbung an Amoeba proteus liegen eine ganze Anzahl von Beobachtungen vor. Hauptsächlich sind es die Arbeiten von Gicklhorn und Vonwiller, die sich speziell mit diesem Gebiet befassen, während die Arbeiten von v. Möllendorff, Rumjantzew-Kerdrowsky und Nirenstein sich allgemein mit der Frage der Vitalfärbung beschäftigen.

Als wesentliches für uns möchten wir aus ihnen kurz folgendes entnehmen: eine eigentliche „Vitalfärbung" — im Sinne v. Moellendorffs der wirklich lebenden Zellen — ist nur die Speicherung in Granulaform. Eine diffuse Färbung ist immer schon der Ausdruck einer Zellschädigung. Nach Gicklhorn handelt es sich bei der Granulafärbung um einen Entmischungsvorgang, bei dem jene Stoffe aus dem

Plasma frei werden, welche den Farbstoff chmisch oder durch Adsorption zu binden vermögen.

Ueber den Einfluß des elektrischen Stromes auf vital gefärbte Zellen sind die Angaben weitaus spärlicher. Hier wären vor allem die Arbeiten Kellers zu nennen. Er beschreibt u. a. Veränderungen der Vitalfärbung unter dem Einfluß des elektrischen Stromes, allerdings bei einer Stromstärke, die für Amoeba proteus durchaus nicht mehr physiologisch sein kann. Dasselbe gilt auch für die Arbeiten von Statkewitsch, der Versuche mit Ciliaten anstellte. Die relativ hohen Ströme, die dabei zur Anwendung kamen, lasssen die Frage stellen, ob es sich hier noch um physiologische Veränderungen gehandelt hat.

Wir verwandten in erster Linie Farbstoffe, von denen wir einen Farbumschlag in dem in Betracht kommenden Reaktionsbereich erwarten konnten. Dabei erwiesen sich die meisten Farbstoffe als relativ stark giftig. Es ließ sich nämlich in einem breiten Bereich schon Schädigung nachweisen, wenn Vitalfärbung bemerkbar wurde. Dagegen gelang es, durch entsprechend längere Einwirkung sehr dünner (kaum noch Farbe zeigender) Lösungen eine ausreichende Färbung herbeizuführen, ohne daß die Tiere zu sehr mitgenommen waren. In den folgenden näher beschriebenen Versuchen wurden die Farbstoffe in einer Konzentration von 0,0001 % verwandt, wobei die Aufnahme verschieden lange dauerte, im Durchschnitt aber nach ungefähr einer halben Stunde deutlich wurde. Die elektrischen Versuche wurden naturgemäß erst angeschlossen, wenn eine einigermaßen sichtbare Färbung vorhanden war. Die Stromstärke betrug 0,1 MA.

Untersucht wurden folgende Farbstoffe: Neutralrot, Methylenblau, Malachitgrün, Cyanin B, Kongorot, Alizarinsulfosaures Natrium, Dichlorphenol, Bromkresolpurpur, Brom-phenolblau, Trypanblau, Nilblau.

1. Neutralrot: In der angegebenen Konzentration trat keine sichtbare Speicherung und keine Schädigung des Tieres auf. Beim Stromdurchfluß entfärbte sich das ganze Feld.

2. Methylenblau: Auch hier war keine sichtbare Speicherung und keine Schädigung des Tieres zu bemerken.

3. Malachitgrün: Erst nach Stunden eine ganz geringe Speicherung, die das Tier schädigte und sich durch den Strom nicht beeinflussen ließ.

4. Cyanin B: Nach einer halben Stunde war eine deutliche Speicherung bereits feststellbar, ohne Schädigung oder Reizung des Tieres. Dann wurde ein konstanter Strom von 0,1 MA eingeschaltet. Die Färbung nahm daraufhin etwas ab und verschwand schließlich vollkommen, doch zeigte sich das Tier erheblich geschädigt. Nach Ausschalten des Stromes trat wieder eine gewisse Erholung ein, einen neuerlichen Stromschluß hielt das Tier indessen nicht mehr aus.

5. Kongorot: Auch hier trat keine sichtbare Speicherung auf, desgleichen wurde eine Schädigung des Tieres vermißt. Bei Stromschluß fiel der Farbstoff im Feld schlierenförmig aus.

6. Alizarinsulfosaures Natrium: Der Farbstoff erwies sich als so stark giftig, daß das Tier binnen kurzem, auch ohne Stromzufuhr, starb. Eine Speicherung war festzustellen.

7. Dichlorphenol: Die Speicherung war ganz gering, nahm unter Stromeinfluß noch ab, wobei aber das Tier geschädigt war.

8. Bromkresolpurpur: Hier trat eine ganz geringe Speicherung auf, und zwar blau, während die umgebende Flüssigkeit blaßgelb war. Doch war das Tier schwer geschädigt, sodaß bei Stromzufuhr der Tod eintrat, während sich das Tier entfärbte.

9. Bromphenolblau: Dieser Farbstoff wurde ziemlich spät blau gespeichert, die umgebende Flüssigkeit war violett. Eine Schädigung der Amöbe war nicht festzustellen. Nach Stromzufuhr nahm die Blaufärbung, aber auch die Schädigung zu. Kurz vor dem Tode sah man, wie die Farbeinschlüsse violett aufleuchteten.

10. Trypanblau: Wurde nichtgespeichert, auch nicht unter Strom. Hingegen entfärbte sich das Feld, und zwar zog sich der Farbstoff nach der Anode zurück.

11. Nilblau: Hierbei trat eine geringe Speicherung auf, die sich unter Strom nicht veränderte. Das Tier war erheblich geschädigt; an den Pseudopsodien trat Kölbchenbildung auf, die Spek bei Aenderung des p_H nach oben oder unten beobachtet hatte.

Zusammenfassend läßt sich feststellen: In den Konzentrationen, die sich als nicht schädigend erwiesen, wurden nur saure Farbstoffe deutlich gespeichert, und zwar durchweg in Granulaform. Bei Anwendung höherer Kontrationen wurden auch die basischen aufgenommen, auch hier erfolgte die Aufnahme im Einklang mit anderen Angaben in Granulaform. Bei Färbung mit Indikatoren, die ihren Farbumschlag zwischen $p_H = 5—7$ hatten, zeigte sich, daß die Tiere zwar im sauren Medium leben, aber neutral speichern. Als geeignet erwiesen sich nur Cyanin B und Bromphenolblau, da diese ohne allzu große Schädigung des Tieres gespeichert wurden.

Ein Farbumschlag unter Einfluß des Stromes ließ sich erst dann erzielen, wenn eine offensichtliche allgemeine Schädigung der Amöben eingetreten war. Die vorher neutral speichernden Tiere wurden entfärbt, was einer Anpassung der Indikatorfarbe an die p_H des umgebenden Mediums entsprach. Nur beim Bromphenolblau hatte man den Eindruck, als ob schon vor deutlicher irreversibler Schädigung eine Aufhellung eintrat, aber auch hier ohne bestimmte Abhängigkeit von der Stromrichtung.

3. Versuche mit Zusatz von Puffergemischen.

Nach der allgemeinen Auffassung von der Stromwirkung auf Zellmembranen ist zu erwarten, daß an der Membran eine Polarisierung und damit Reaktionsverschiebung erfolgt. An der Außenseite der Membran ist deshalb in Richtung der Anode eine Säuerung, in Richtung der Kathode eine Alkalisierung zu erwarten. Naturgemäß ergibt sich die Frage, wie

weit die bei Stromdurchgang zu beobachtenden Wirkungen sekundäre Folgeerscheinungen dieser Reaktionsänderung sind. Daß schon sehr geringe Aenderungen der Außenreaktion von großem Einfluß sein können, zeigt die Amoeba proteus, wie sich schon aus den Vorversuchen ergab, in besonderem Maße. Auch auf die Aufnahme von Farbstoffen ist nach den Ausführungen Bethes ein Einfluß der Reaktion zu erwarten, indem saure Farbstoffe mehr von einem sauer reagierenden Plasma gespeichert werden und umgekehrt (Bethes Reaktionstheorie). Rhode und Albach hingegen wollen die Hauptbedeutung weniger dem Plasma als dem umgebenden Medium zugeschrieben wissen.

Zur Untersuchung des Reaktionseinflusses von außen wurden dem normalen Milieu Puffergemische hinzugesetzt. Wir verwandten Phosphat- und Acetatpuffer und stellten zunächst durch Vorversuche fest, bei welcher molaren Konzentration die Puffermischung von Amöben für einige Zeit vertragen wurde. Wir verwandten dann die an der oberen Grenze liegende Konzentration von n/180 Mol, also eine stark hypertonische Lösung.

A. Phosphatpuffer.

Verwandt wurde eine Mischung von primärem und sekundärem Natriumphosphat, die einen Mischungsbereich von $p_H = 5 - 8$ zuließen. Bei einem p_H von 6,5 — 8 starben die Tiere sofort, bei $p_H = 6$ erfolgte der Tod unterschiedlich nach einigen Minuten. Als physiologisch zu nennen erwies sich lediglich ein Bereich von $p_H = 5 - 6$. Innerhalb dieser Grenze wurden dann die Amöben einmal mit Bromphenolblau, dann mit Cyanin B gefärbt. Es zeigte sich, daß das Färbungsoptimum bei beiden Farbstoffen verschieden lag, bei Bromphenolblau bei $p_H = 5 - 5{,}3$, bei Cyanin etwa bei $p_H = 5{,}6$.

B. Acetatpuffer.

Als Ausgangslösung wurde eine Mischung von Essigsäure und reinem essigsaurem Natrium genommen, die einen Misch-

ungsbereich von $p_H = 4{,}6 - 6{,}8$ zuließen. Gefärbt wurde mit Bromphenolblau und Canin B. Im einzelnen ergab sich folgendes:

Bromphenolblau: Bei $p_H = 4{,}6$ speicherte das Tier zunächst ziemlich stark, gab aber die Farbe bald wieder ab und erwies sich als geschädigt, sodaß eine Abkugelung in der Stechapfelform eintrat. Bei $p_H = 5 - 5{,}3$ wurde wieder gut gespeichert und ohne sichtbare Schädigung längere Zeit beibehalten, während bei $p_H = 5{,}5$ die Färbbarkeit wieder abnahm.

Cyanin B: Im allgemeinen färbte sich die Amöbe nicht so gut wie mit vorigem Farbstoff, behielt aber die Intensität der Farbe bei. Das Optimum der Speicherung lag bei $p_H = 5{,}5$. Es zeigte sich also bei Acetat-Puffergemisch dasselbe Optimum wie beim Phosphatpuffer.

Als Ergebnis dieser Versuche möchten wir feststellen: Wir sahen in der Tat einen deutlichen Einfluß der Reaktion auf die Speicherungsfähigkeit in dem Sinne, daß, wie nach der Literatur zu erwarten war, der saure Farbstoff sein Optimum bei stärker saurer Reaktion als der basische hatte. Die Lebensbreite der Amoeba proteus unter einer Puffereinwirkung lag etwa bei $p_H = 5 - 5{,}5$. Unterschiede im Aussehen der bei einem höheren oder niederen p_H sterbenden oder zugrunde gegangenen Amöben waren nicht festzustellen. Wir müssen natürlich annehmen, daß saure und alkalische Reaktion zunächst andersartige Veränderungen an den Zellen bewirken. Offenbar spielt sich diese primäre chemische Einwirkung aber in Dimensionen ab, die unserer Beobachtung entzogen sind, wahrscheinlich an der Zellmembran selbst. Und das, was nachher als Schädigung der Gesamtzelle beobachtet wird, ist eine gleichartige Folgeerscheinung der Membranschädigung, unabhängig von der Art der in der Membran abgelaufenen Prozesse.

II. Durchströmung in der Kammer mit angelegten Elektroden.

Da die vorausgegangenen Versuche polargerichtete Wirkungen an den Amöben nicht erkennen ließen, wurde im folgenden versucht, die zuführenden Elektroden möglichst nahe

an die Zelle heranzubringen. Wir benutzten dazu Platindrähte, die mechanisch möglichst fein zugespitzt worden waren und mittels eines Mikromanipulators von Leitz unter mikroskopischer Kontrolle an die Zelle herangebracht wurden. Die Zellen befanden sich in einem die Kuppe eines hohlgeschliffenen Objektträgers ausfüllenden Tropfen der Kulturlösung. Die Elektroden wurden bis zur Spitze mit Wachs überzogen und unter Zwischenschaltung von 0—50 000 Ohm mit einem 4 V Akkumulator verbunden. Der Widerstand des Stromkreises betrug ungefähr 50 000 Ohm. Ueber die angelegten Stromstärken können nur z.T. genauere Angaben gemacht werden, da unser Milliampèremeter nicht empfindlich genug war. Jedoch reichte unser eingeschalteter Widerstand aus, um den Strom von einer schlagartig abtötenden Stärke bis zu einer ungefähr 10 Minuten dauernden Wirkungslosigkeit abzudrosseln.

Bei den verwandten Strömen trat Gasentwicklung nur noch an der Kathode auf. Aus diesem Grunde konnte die Anode der Amöbe dicht angelegt werden. Zwischen Kathode und Amöbe mußte wegen der mechanischen Störung durch Gasblasen ein kleiner Zwischenraum geschaffen werden, der etwa das 3—4fache eines Amöbendurchmessers betrug. Es zeigte sich nun, daß hierbei die Amöben wesentlich empfindlicher waren als bei der ersten Methode, bei welcher der Strom durch das ganze Feld geschickt worden war. Es wurde nur immer gerade die Amöbe getroffen, die zwischen den Elektroden lag. Die anderen in der Kammer liegenden Tiere wurden überhaupt nicht tangiert. Im folgenden Protokoll sind die Ergebnisse zusammengefaßt.

0,05 MA: Sofort nach Stromschluß erfolgte eine Abtötung des Tieres, sowohl an der Anode wie an der Kathode, und zwar ohne deutliche Bewegung der elektrisierten Stelle und ohne polare Richtung.

0,01 MA: Ganz kurze Reizung verursachte ein zichharmonikaartiges Zusammenziehen der Pseudopodien. Die Tiere erholten sich nach einer Pause, hielten aber eine neuerliche Reizung schlechter aus. Reizte man längere Zeit, so zeigte sich, sich, daß die Amöben in ungefähr 5 Sekunden starben, teils

auf dem schon beschriebenen Weg der Braunverfärbung und des Zusammenschrumpfens; teils, und das betraf mehr die vorher geschädigten Zellen, durch Platzen unter Austritt körperlicher Bestandteile.

30 000 Ohm: Die Ampèrezahl war nicht mehr festzustellen. Hier war eine längere Reizung notwendig, um einen Erfolg zu erzielen. Da an der Kathode noch störende Gasblasen auftraten, wurden die Versuche lediglich an der Anode angestellt. Dort zeigte sich eine deutliche Wirkung nach 5 Minuten. Zwar trennte sich nicht das Ektoplasma vom Endoplasma, sondern das Tier kugelte sich langsam zur Stechapfelform ab und lag am Schluß in einiger Entfernung von der Anode. Hierbei trat wieder eine Braunverfärbung ein, die eine irreversible Schädigung des Tieres anzeigte.

50 000 Ohm: Hier war auch nach langer Reizung keine Wirkung mehr zu beobachten. Ein eingehender Versuch wurde dadurch verhindert, daß die Amöbe an der Elektrode hochkroch.

Eine eindeutig reversible polare Zellbeeinflussung konnte somit auch in dieser Versuchsreihe nicht festgestellt werden.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

Bei elektrischen Durchströmungsversuchen an der Amoeba proteus konnten wohl die von Verworn beschriebenen polaren Strukturveränderungen an der Zelle beobachtet werden, doch gelang es uns nicht, diese oder andere Erscheinungen in reversibler Weise zu erzeugen. Desgleichen war es nicht ohne weiteres möglich, Rückschlüsse aus diesen irreversiblen groben Zellveränderungen auf den Mechanismus einer physiologischen Reizung durch den elektrischen Strom zu ziehen. Wahrscheinlich hängt unser negatives Ergebnis damit zusammen, daß die physiologischen Vorgänge sich in anderen, der mikroskopischen Beobachtung nicht mehr zugänglichen Strukturdimensionen abspielen.

Literatur.

1. Albach: Zellenphysiologische Untersuchungen über vitale Protoplasmafärbung. Protoplasma Bd. 5, S. 412.

2. Bethe: Der Einfluß der H-Ionenkonzentration auf die Permeabilität toter Membranen, auf die Adsorption von Eiweissolen und auf den Stoffaustausch der Zellen. Biochemische Zeitschrift 127, 18, 1922.

3. Gicklhorn: Notizen über Formwechsel, Zustandsänderungen und vitale Farbspeicherung von Amoeben. Protoplasma Bd. 10, S. 415.

4. Gluns: Dissertation 1937.

5. Keller: Die Elektrizität in der Zelle. Mähr. Ostrau 1925.

6. v. Möllendorff: Vitale Färbung an tierischen Zellen. Ergebnis d. Physiol. 18.

   Derselbe: Vitale Färbung an Tierzellen. Abderhalden, Handbuch Bd. 5, 2, 1.

7. Nirenstein: Ueber das Wesen der Vitalfärbung. Pflügers Archiv 179 (1920).

8. Rumjantzew-Kedrowsky: Untersuchungen über Vitalfärbung einiger Protisten. Protoplasma Bd. 1, S. 189.

9. Spek: Bethes Handbuch der Physiologie Bd. 8, 1.

10. Statkewitsch: Galvanotropismus und Galvanotaxis bei den Ciliaten. Zeitschr. f. allgem. Physiol. 6, 24, 1906.

11. Verworn: Allgemeine Physiologie 6. Aufl. 1915.

12. Vonwiller: Intravitale Färbung von Protozoen. Abderhalden, Handbuch, Bd. 5, 2, 1.

Lebenslauf.

Ich, Ernst Gustav Nebel, wurde als zweiter Sohn des Regierungsbaumeisters Gustav Nebel und seiner Ehefrau Elisabeth geb. Wilke am 5. Oktober 1912 in Danzig geboren. Von 1919 ab besuchte ich zuerst die Vorschule und dann das Reform-Realgymnasium zu Frankfurt / Oder. 1932 bestand ich die Reifeprüfung und beschloß, Medizin zu studieren. Als Studienort wählte ich Tübingen und legte hier am 28. Juli 1934 die ärztliche Vorprüfung ab. Die ersten beiden klinischen Semester studierte ich in Hamburg und kehrte dann nach Tübingen zurück. Ich beabsichtige, mich in der kommenden Prüfungsperiode dem medizinischen Staatsexamen zu unterziehen.